

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Absolvování individuální odborné praxe
Individual professional practice in the company

Zadání bakalářské práce

Student: **Paweł Czapla**
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907R001 Elektroenergetika**
Téma: **Absolvování individuální odborné praxe**
Individual Professional Practice in the Company

Jazyk vypracování:

Zásady pro vypracování:

1. Student vykoná individuální praxi ve firmě: Strojírny a stavby Třinec - Elektrotechnické dílny
2. Struktura závěrečné zprávy:
 - a. Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta
 - b. Seznam úkolů zadaných studentovi v průběhu odborné praxe s vyjádřením jejich časové náročnosti
 - c. Zvolený postup řešení zadaných úkolů
 - d. Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe
 - e. Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe
 - f. Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení


Seznam doporučené odborné literatury:

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 25. dubna 2017


.....
podpis studenta

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby.

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavku článku 26., odstavce 9. Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.“



**STROJÍRNY A STAVBY
TŘINEC, a.s.**
Průmyslová 1038, Staré Město,
739 61 Třinec

-8-

Dne: 28. dubna 2017



.....
podpis zástupce

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu provozu elektrotechnických dílen firmy Strojírny a stavby Třinec, a. s., panu Ing. Petru Kičmerovi za možnost absolvování odborné praxe. Největší poděkování patří mému konzultantovi Ing. Martinu Sikorovi a Radku Krupovi za organizaci mé praxe a nespočet cenných odborných rad, které mi při vypracování práce poskytli. Dále bych chtěl poděkovat doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za vedení při zpracování práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje průběh absolvování individuální odborné praxe ve firmě Strojírny a stavby Třinec, a. s. v Třinci. Mým úkolem bylo seznámit se s chodem provozu v oddělení elektrotechnických dílen a s procesem opravy elektrických strojů (synchronní, asynchronní a stejnosměrné motory). Toto dále zahrnovalo podílet se na montáži, zkoušení, měření a zpracovávání dokumentace opravovaného stroje.

Začátek práce se věnuje popisu firmy a jejího odborného zaměření. V další kapitole uvádím mně zadané úkoly a časové rozdělení na jednotlivých pozicích – v rámci praxe jsem měl možnost vyzkoušet si následující: pracovník navijárny a pracovník zkušebny. Největší část mé bakalářské práce (kapitoly 4. a 5.) popisuje montáž strojů s ohledem na konstrukci a jejich další měření a zkoušení. Kapitola čtvrtá se věnuje konstrukci a úkolům spojeným s montáží opravovaného stroje, pátá kapitola je zaměřená na diagnostiku, měření a zkoušení s ním spojenými. V závěrečné části hodnotím dovednosti a znalosti získané v průběhu studia, které jsem využil při realizaci práce, a dále přináším zhodnocení odborné praxe samotné.

Klíčová slova

motor, stator, rotor, vinutí, komutátor, kroužky, ložiska, měření, zkoušení, měřicí přístroj, izolace, individuální odborná praxe

Abstract

A presented bachelor's work describes a course of my individual professional experience attended in Strojírny a stavby Třinec, a. s. company in Třinec. My duty was getting acquainted with functioning of electrotechnical workshop department as well as an electric machines repair process (synchronous, asynchronous and direct current motors). Other tasks were participating in assembling, testing, measuring and repaired machine documentation process.

The first part of the bachelor's work devotes describing of the company and its professional aiming. Next chapter deals with the duties given to me and timing on particular positions. I had an opportunity to tryout following: wind operative and testing-room operative. The hugest part of my bachelor's work (chapters 4 and 5) describes machine assembling in view of the construction and their subsequent measuring and testing. The fourth chapter deals with construction and related testing. In the last part, I evaluate skills and knowledge obtained during my university studies, and which I applied in realisation of work, and I also bring an evaluation of the professional experience.

Key words

motor, stator, rotor, winding, commutator, rings, bearings, measuring, testing, instrumental, insulation, individual professional experience

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Popis odborného zařazení firmy.....	2
2.1	Popis společnosti Strojírny a stavby Třinec, a. s.	2
2.2	Popis provozu elektrotechnické dílny	2
3	Pracovní zařazení studenta	3
3.1	Rozvržení praxe.....	3
3.2	Pozice pracovníka navijárny	3
3.3	Pozice pracovníka zkušebny	3
4	Montážní a praktické úkoly	4
4.1	Konstrukce asynchronních 3f motorů	4
4.2	Montáž statorového vinutí.....	5
4.3	Montáž rotorového vinutí (rotoru nakrátko)	6
4.4	Zapojení vinutí a vyvedení na svorkovnici	6
4.5	Zhotovení štítu stroje.....	7
5	Zkušební a měřicí úkoly	9
5.1	Měření odporů	9
5.1.1	Měřicí metody	9
5.1.2	Měření vinutí.....	9
5.2	Zkouška nakrátko	10
5.3	Zkouška naprázdno	10
5.4	Závitová zkouška.....	10
5.5	Magnetizační zkouška plechů	11
5.6	Zkouška přiloženým napětím	11
5.6.1	Princip činnosti.....	11
5.6.2	Postup zkoušky.....	12
5.6.3	Kvalifikační a bezpečnostní požadavky	12
5.7	Závitová impulsní zkouška.....	13
5.7.1	Princip činnosti.....	13
5.7.2	Kvalifikační a bezpečnostní požadavky	13
5.8	Měření izolačního stavu	14
5.8.1	Zásady měření a stanovení hodnoty izolačního odporu	14

5.8.2	Druhy měření.....	15
5.8.3	Vliv měřicího napětí a doby měření.....	15
5.8.4	Měřicí metody	15
5.8.5	Postup měření.....	16
5.8.6	Měření jednotlivých izolačních odporů.....	16
5.9	Měření polarity.....	17
5.10	Nastavení neutrální polohy sběradel	17
5.11	Měření vibrací	18
6	Uplatněné a chybějící znalosti a dovednosti	20
7	Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její zhodnocení.....	21
	Seznam použitých symbolů.....	22
	Seznam obrázků a tabulek.....	23
	Použitá literatura	24
	Seznam příloh.....	25

1 Úvod

Pro téma bakalářské práce jsem si vybral absolvování individuální odborné praxe, kterou jsem vykonával ve firmě Strojírny a stavby Třinec, a. s. - provoz elektrotechnických dílen, v průběhu dvou semestrů akademického roku 2016/2017. Jedná se o alternativu závěrečné práce, která poskytuje možnost poznat reálný chod firmy fungující ve strojírenské branži, jak rovněž poznat konkrétní postup při vyřizování jednotlivých zakázek a oprav od získání firmou až po předání výrobku zákazníkovi. Toto spektrum zahrnuje vstupní diagnostiku opravovaného stroje, návrh postupu opravy, volbu materiálu pro vyhotovení zakázky, montáž, odzkoušení stroje v průběhu opravy i před předáním zákazníkovi a editaci dokumentace průchodu stroje celým cyklem opravy.

Hlavní náplní mé práce byly montážní a zkušební úkony spojené s opravou elektrických strojů. Mezi tyto úkony patří zhotovování vinutí statoru a rotoru, izolace vinutí a následné vyvedení na svorkovnici. Dále úkony spojené s měřením během opravy i při výstupní kontrole před předáním stroje k expedici. Během těchto úkonů je třeba dbát na bezpečnost a přesnost prováděných úkonů a měření. Základním předpokladem je oprava daného stroje dle běžných norem a standardů s důrazem na bezpečnost a spolehlivost při dalším provozu stroje u zákazníka.

Možnost absolvovat bakalářskou práci formou odborné praxe jsem si zvolil hlavně z důvodu aplikace teoretických znalostí a následného nabytí praktických dovedností. Dalším důvodem je požadavek budoucích zaměstnavatelů a trhu práce na praktické zkušenosti absolventů získané během studia. Absolvování praxe a stáží během studia je předpokladem pro získání pracovní pozice již po ukončení studia.

2 Popis odborného zařazení firmy

2.1 Popis společnosti Strojírny a stavby Třinec, a. s.

Servisně dodavatelský komplex Strojírny a stavby Třinec, a.s., který vznikl v roce 2013 spojením dceřiných společností D5 a.s. a Strojírny Třinec, a.s. (s výrobní tradicí od roku 1885) je dnes orientován na výrobu strojně-technologických celků, jednoúčelových strojních zařízení, technologických svařenců, strojních součástí i náhradních dílů, ocelových svařovaných konstrukcí včetně mostů, na výrobu a renovaci hutních válců, a také na opravy hlavních hutních agregátů v rámci strojních, elektrotechnických a stavebních prací. Tato servisně dodavatelská společnost disponuje zámečnickou, elektrotechnickou, stavební a žárotechnickou dílnou. Má také vlastní projekční a konstrukční kancelář. Díky svému zkušenému kádru pracovníků se akciová společnost stala ojedinelou v rámci České republiky, protože dovede velmi kvalitně a pružně reagovat na potřeby mateřské společnosti Třineckých železáren, jak rovněž komplexně realizovat i velké projekty nejen v rámci regionu Moravskoslezského kraje a České republiky, ale také v zahraničí. [1]

Rozdělení společnosti Strojírny a stavby Třinec, a.s. na jednotlivé provozy:

- Elektrotechnické dílny
- Žárotechnické dílny
- Mechanické dílny
- Zámečnické dílny
- Soustružna válců
- Stavební dílny
- Konstrukce

2.2 Popis provozu elektrotechnické dílny

Nosným programem činnosti elektrotechnických dílen jsou opravy všech typů motorů různých výkonových hladin: asynchronní, synchronní, stejnosměrné, vysokonapětově a opravy generátorů. Další činnosti na tomto úseku je oprava transformátoru, rotačních i statických svářeček, dynam, startérů a alternátorů. V rámci další činnosti střediska se provádí opravy strojních částí motorů, břemenových magnetů, výroba a opravy spouštěcích odporů a opravy ručního elektrického nářadí. Mezi elektromontážní práce patří elektroinstalace průmyslových hal, opravy jeřábu a zdvihacích zařízení, výroba rozvaděčů nn napětí a další. Veškeré tyto práce zajišťuje firma od zpracování výkresové dokumentace, přes montáž, vystavení revizní zprávy až po předání uživateli. V neposlední řadě provoz zajišťuje zkoušení a revize v široké škále, mezi hlavní úkony patří měření střídavých a stejnosměrných motorů nn a vn před opravou, během opravy a po opravě nebo revizi za použití moderních diagnostických měřících přístrojů. Mezi další poskytované služby patří provádění kalibrace a cejchování měřících přístrojů, usazování elektrických strojů a mnoho dalších činností.

3 Pracovní zařazení studenta

3.1 Rozvržení praxe

Moje praxe ve firmě byla rozvržena na dvě části. První z nich jsem absolvoval na pozici zaměstnance navijárny, v druhé části mé praxe jsem se podílel na práci jako zaměstnanec zkušebny. Obě pozice jsou součástí cyklu oprav elektrických strojů. Popis jednotlivých pracovních pozic je uveden v následujících kapitolách. V tabulce níže vidíme rozdělení pracovních dní mezi absolvované pracovní pozice.

Tab. 3.1 Časové rozvržení pracovních dní

Pozice pracovníka navijárny	Pozice pracovníka zkušebny
15 dní	35 dní

3.2 Pozice pracovníka navijárny

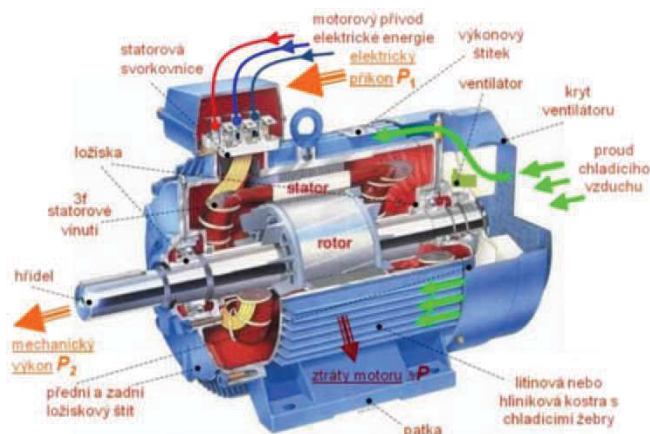
Tato pracovní pozice je vhodná pro uchazeče s absolvovanou střední školou v elektrotechnickém, potažmo strojírenském odvětví. Mezi hlavní úkoly tohoto pracovníka patří spíše manuální úkony: ukládání vinutí rotoru a statoru různých točivých i netočivých elektrických strojů, manipulace s dráty cívek, pájení natvrdo a vinutí jednotlivých cívek stroje. Zaměstnanec by měl disponovat hlavně zručností, samostatností a technickým myšlením. Jsou dále vítány další vlastnosti uchazeče jako znalost čtení technické dokumentace a povědomí o principech činnosti elektrických strojů. Vítány jsou strojírenské zkušenosti zaměřené na spojování kovů jak za studena (šroubové spoje, lisované koncovky), tak i v případě pájení a svařování.

3.3 Pozice pracovníka zkušebny

S touto pracovní pozicí je spojena větší míra zodpovědnosti, tudíž je pozice vhodná pouze pro absolventy střední školy elektrotechnického zaměření ukončené maturitní zkouškou nebo absolventy vysoké školy elektrotechnického zaměření. Hlavní náplní této pracovní pozice jsou zkoušky a měření elektrických strojů jak během cyklu opravy, tak i na výstupu před předáním stroje zákazníkovi. Součástí práce jsou dále např. úprava dokumentů spojených s opravou stroje, tvorba protokolů z měření, provádění revizí, ukládání a zpracování naměřených dat. Mezi hlavní kladené nároky na tohoto zaměstnance patří pečlivost, samostatnost a přijímání zodpovědnosti za své výkony. Tento zaměstnanec by měl mít dobré matematické schopnosti, jak rovněž znalost elektrických veličin a jejich jednotek, které uplatní hlavně při práci s měřicími přístroji a tvorbě dokumentace. Vykonávání této pracovní pozice je podmíněno důrazem na dodržování bezpečnosti při práci s elektrickými stroji a zařízeními dle platných nařízení.

4 Montážní a praktické úkoly

4.1 Konstrukce asynchronních 3f motorů



Obr. 4.1 Řez trojfázovým asynchronním motorem [2]

Asynchronní motory se skládají ze dvou základních částí. První částí je stator obsahující vinutí z mědi, které může být třífázové nebo jednofázové (hlavní a pomocné vinutí). Vinutí se ukládají do statorového balení elektrotechnických plechů, který je nalisován do kostry motoru. Vodiče v drážkách jsou lakované nebo smaltované a musí být izolovány od statorových plechů. Plechy jsou mezi sebou také izolovány. Kostra je vyrobena z hliníku nebo litiny a má na svém povrchu žebrovaní sloužící k ochlazení stroje během provozu. Na přední a zadní straně motoru se nachází ložiskové štíty, ve kterých jsou uložena ložiska. Spodní část kostry obsahuje patky k přichycení stroje. S ohledem na použití motoru může obsahovat přírubu. Statorový svazek se impregnuje zejména k dosažení určité mechanické pevnosti a kvůli zlepšení odvodu tepla z drážky, dále ve svazku mohou být zapletena čidla k měření teploty vinutí. Svorkovnice třífázového asynchronního motoru má šest svorek, mezi které jsou zapojena tři vinutí. K možnosti zapojení motoru do hvězdy nebo trojúhelníku slouží tři malé kovové spojky. Toto řešení se využívá hlavně u nejběžnějších motorů používaných pro rozvod 400/230 V. V hutních provozech se ale často používají motory pro napětí 500 V, v tomto případě je vinutí spojeno již uvnitř stroje a na svorkovnici mohou být vyvedeny pouze tři vodiče.

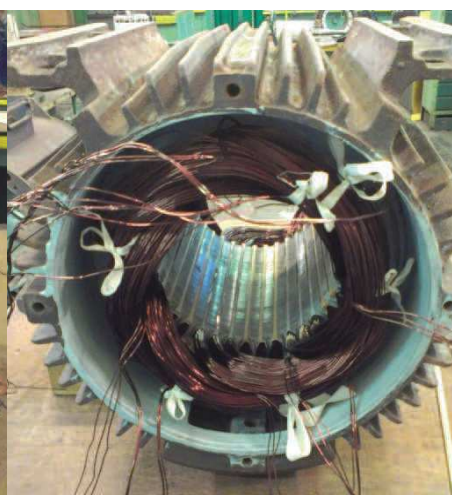
Další základní částí motoru je rotor. Na rotoru se nachází klecové vinutí v případě asynchronního motoru s klecí nakrátko nebo třífázové vinutí, jehož konce jsou vyvedeny ke kroužkům na rotoru. Proud protéká přes sběrací kartáče do odporových spouštěčů. U klecového vinutí je na rotoru klec vyrobená z hliníku nebo mědi. Tyto klece se pak s ohledem na požadavky mohou lišit. Mezi nejběžnější patří klece z hliníku (tlakově litá, tlakově litá s vloženými měděnými tyčemi), pak klece svařované, letované nebo montované z mědi. Tato klec je zastříknuta do balení rotorových plechů. Ty jsou pak s klecí nalisovány na hřídel. Hřídel obsahuje vyfrézovanou drážku, do které se umísťuje pero. Na kleci bývají malé lopatky sloužící k ventilaci motoru. K aktivnímu chlazení motoru je na hřídel nasazen plastový ventilátor. Ke snížení vibrací stroje během jeho provozu se používají podložky, které jsou nasazeny na malé válečky po obvodu kruhu k dynamickému vyvážení rotoru, a následně mechanicky zafixovány (rozklepáním válečku). [3]

4.2 Montáž statorového vinutí

Mým úkolem byla příprava a montáž statorového vinutí motoru. Po rozebrání motoru je potřeba demontovat staré porouchané nebo jinak nevyhovující vinutí rotoru. Tomuto postupu se říká „trhání vinutí“. Vinutí je vypáleno v peci při cca 400 °C, následně se ořežou věnce a zbytky vinutí se můžou vyjmout. U tyčových vinutí je nutné provést rovnání a vytahování tyčí. Když je odstraněno staré vinutí, je třeba stator očistit a zkontrolovat, jestli se v drážkách nenacházejí nečistoty nebo zbytky roztaveného vinutí. Případně se drážky upraví pilníkem - vypilované nečistoty a prach se vyfouknou stlačeným vzduchem a plechy se natrou lakem. Do připravených drážek se vloží izolace, která je tvořena dvěma kousky izolačního materiálu. Nejčastěji se používá materiál s názvem Myoflex - je to materiál na bázi plastů o tloušťce 0,3 mm (nejčastěji), dále 0,2 až 0,6 mm. Když je izolace připravená, vložíme spodní svazek vodičů cívky do drážky, na který uložíme opět vrstvu přídavné izolace. Pokračujeme s vkládáním vinutí po obvodu, a po založení pár cívek můžeme vložit i vrchní svazek vodičů. Nyní je v drážce uloženo vinutí jak spodního, tak i vrchního svazku drátu cívky, a celek je odizolován od statoru. Při ukládání cívkové skupiny musíme dbát na správný směr uložení, aby nedošlo k záměně začátku a konce cívky cívkové skupiny. V dalším kroku se zvolí vhodný tvar a délka klínku, kterým se vodiče mechanicky upevní uvnitř drážky, aby klínek nevystupoval nad úroveň plechů statoru do prostoru, kde se ve vzduchové mezeře otáčí rotor. Špatná volba tvaru by mohla způsobit poškození rotoru, nebo i uvolnění cívkové skupiny z drážky statoru. Používají se nejčastěji klínky dřevěné, nebo ve speciálních případech i z materiálů na bázi skelných vláken. Po uložení všech cívek je třeba ještě přidat izolaci mezi jednotlivými fázemi. Toto se provádí vložením takzvaných „motýlů“ mezi jednotlivé svazky drátu. Motýle jsou izolace ve tvaru půlkruhu nejčastěji tvořené materiálem Myoflex (zmiňovaný výše), nebo materiálem Filosam, který je na bázi slídy. Takto připravená čela vinutí se stáhnou bandáží (SCBT, SCST, SCPT) pro mechanickou fixaci a vinutí je připraveno na lakování. Třetí písmeno u označení bandáže SCST označuje, z jakého materiálu je bandáž zhotovena (B-bavlna, S-sklo, P-polyester). Níže na obrázcích číslo 4.2 a 4.3 je zobrazený průběh montáže vinutí dvou statorů.



Obr. 4.2 Sypání šestnáctipólového statorového vinutí



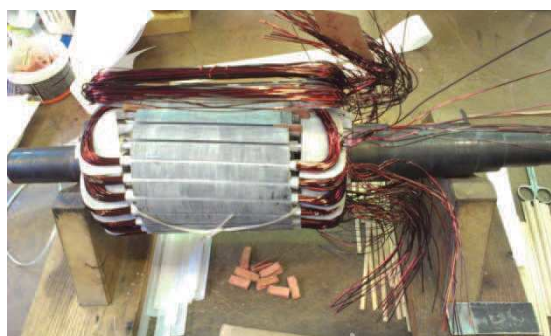
Obr. 4.3 Sypání čtyřpólového statorového vinutí

4.3 Montáž rotorového vinutí (rotoru nakrátko)

Při montáži rotorového vinutí je situace obdobná. Je třeba rotor připravit a dále uložit vinutí podobně jako při ukládání vinutí statoru. Při montáži dbáme na správnou délku izolace, která je vložena do drážky, obdobně izolujeme cívky jednotlivých fází mezi sebou a vrstvy vinutí mezi sebou. Na obrázcích níže je dále viditelný rozdíl, kdy na obrázku 4.4 je rotorové vinutí tvořeno plochými měděnými profily obdélníkového tvaru, a na obrázku 4.5 je vinutí tvořeno klasicky měděnými dráty. Výrazný rozdíl je při samotné manipulaci během montáže. Při práci s profily si můžeme dovést použití větší síly při dotvarování vinutí, ale samotná tvorba cívkové skupiny je náročnější. Pro cívkovou skupinu je třeba vytvořit speciální šablonu, podle které se cívkové skupiny navinou a roztáhnou. U menšího rotoru manipulace ještě není úplně složitá, problémy nastávají, když průřezy profilů dosahují řádově jednotky cm^2 . V tomto případě je třeba svařovat šablony z ocelových profilů, aby vydržely mechanické namáhání při tvarování jednotlivých cívek. Vyplňování drážek je taky odlišné - vkládání drátu v případě klasických cívek je mnohem jednodušší než v případě manipulace s profily. Naopak při práci s dráty hrozí větší riziko poškození izolačních schopností cívky. Cívka se může jednodušeji odřít o hranu drážky, nebo poškodit při izolaci přední strany vinutí. Dalším důležitým faktem je orientace vložených cívek: je třeba dbát na správné pořadí začátku a konců vinutí, a hlavně pak na orientaci vývodu cívek ke kroužkům na hřídeli. Není to pravidlem, ale ve většině případů jsou kroužky umístěny na delší části hřídele - v tomto místě se nachází i drážka pro umístění pérka, které zajišťuje uchycení kroužku. Kroužky se taky čistí, brousí a někdy je potřeba osadit sběrací ústrojí nové. Připojení cívek na praporky komutátoru se realizuje pájením naměkko, ale kroužky jsou většinou k vinutí rotoru připojeny pomocí šroubového spoje. Vinutí je v drážkách opět fixováno dřevěnými klínky, které zajišťují pevné uložení vinutí v drážce tak, aby nedošlo k jejímu uvolnění a následné poruše. Hlavním rozdílem mezi vinutím statoru a rotoru je fakt, že rotor se při chodu stroje otáčí. I proto je kladen větší důraz na kvalitní uchycení všech částí vinutí, a dále na izolaci a fixaci přední a zadní strany vinutí rotoru, aby odolala odstředivým silám, které na rotor působí.



Obr. 4.4 Rotor, u kterého cívky tvoří profily

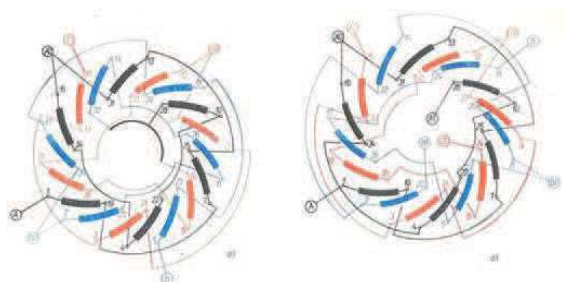


Obr. 4.5 Rotor, u kterého cívky tvoří dráty

4.4 Zapojení vinutí a vyvedení na svorkovnici

Když jsou cívky vloženy do drážek rotoru, je třeba je pospojovat a vyvést vodiče na svorkovnici. Na obrázku 4.7 je zobrazený stator stroje s připravenými vývody na svorkovnici. Tyto vývody se realizují měděnými vodiči standardních průřezů. Průřez vodiče volíme podle proudového

zatížení stroje. Vodiče se spojí zatočením do sebe a takto je stator připravený na pájení. Po zapájení všech vývodů se konce zkrátí a zaizolují bužírkami. Tyto konce následně opatrně vytvarujeme a uložíme na věnec vinutí. Do věnce se dále můžou zaplést snímače teploty vinutí (např. spínací nebo rozpínací), které se také vyvedou do svorkovnice jako pomocné kontakty. Vodiče se ke svorkovnici připojují většinou pomocí oček nebo vidliček, které jsou nalisovány na vyvedené vodiče z vinutí motoru. Takto připravený věnec vinutí se již pouze stáhne bandáží a vytvaruje tak, aby nedošlo k poškození při vložení rotoru. Dále se vinutí nalakuje lakem a motor je připravený ke složení. Existuje spousta druhů laků: volíme je podle jejich specifikací a doporučení aplikace. Všechny vložené izolace, ať už v drážkách nebo na čelech vinutí, spadají do tříd tepelné odolnosti. Tyto třídy popisuje tabulka 4.1 Dnes již většina používaných izolačních materiálů spadá minimálně do třídy F. Níže na obrázku 4.6 je znázorněná dvojice možných zapojení cívkových skupin. Zapojení volíme podle druhu a otáček motoru. Náročnost montáže jednotlivých zapojení se odlišuje množstvím cívkových skupin a velikostí motorů. Během praxe jsem pracoval na motoru, kde z manipulačních důvodů při ukládání vinutí byla nutná asistence kolegy, aby nedošlo k poškození jednotlivých drátů vzhledem k tomu, jak byl stator veliký. Další příklady možnosti různých zapojení jsou zobrazeny v přílohách.



Obr. 4.6 Příklad zapojení cívkových skupin [6]



Obr. 4.7 Stator připravený pro pájení

Tab. 4.1 Třídy tepelné odolnosti izolačních materiálů

Třída tepelné odolnosti izolačních materiálů					
A	E	B	F	H	C
do 105 °C	do 120 °C	do 130 °C	do 155 °C	do 180 °C	nad 180 °C

4.5 Zhotovení štítku stroje

Štítek je velmi důležitou součástí stroje. Na štítku najdeme specifické údaje o stroji: typ stroje a výrobní číslo jsou důležité při jeho identifikaci. Podle těchto údajů lze dohledat výrobce nebo motor podobných parametrů pro případné porovnání během diagnostiky a měření. V elektrických dílnách má navíc každý motor také své specifické číslo v rámci celého podniku Trineckých železáren. Dále jsou na štítku uvedené jmenovité hodnoty výkonu, napětí a proudu. Tyto hodnoty jsou důležité

především při zkoušení stroje. Musíme vědět jakým proudem je možné stroj zatížit, na jaké napětí motor připojit, aby bylo možné zaznamenat hodnoty z měření a provést porovnání s podobným strojem, nebo pomocí výpočtu zkontrolovat charakteristické hodnoty. Údaje jako druh proudu (3f nebo 1f), nebo zapojení vinutí (D, Y, YY) použijeme při připojování samotného stroje k přívodnímu vedení. V neposlední řadě jsou uvedené údaje jako je druh zatížení (například S1 – trvalé zatížení), krytí stroje IP a třída izolace stroje (například F – 155 °C). Tyto údaje mají velmi důležitý význam pro obsluhu a servis stroje. Umístění stroje je svázáno s jeho IP krytím, které udává odolnost proti cizím tělesům a působení vody. Uživatel dále musí volit pohon tak, aby byly splněny požadavky na zatížení. Toto spolu s plánovanými odstávkami a servisem stroje tvoří předpoklad pro dlouhou životnost pohonu.



Obr. 4.8 Ukázka štítku asynchronního klecového motoru [2]

Štítkové hodnoty můžeme využít také při přepočtu parametrů (viz níže). Tento přepočet je důležitý hlavně při převíjení stroje z napětí 400 V na napětí 500 V. Napětí 500 V je charakteristické pro použití v hutních provozech. Hodnoty napětí a proudu U_1 a I_1 jsou hodnotami původního stroje, hodnoty U_2 a I_2 jsou hodnotami platícími pro stroj převinutý s přepočtenými parametry.

$$S_1 = S_2 \quad (4.1)$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (4.2)$$

$$\frac{U_1 I_1}{U_2} = I_2 \quad (4.3)$$

$$I_2 = \frac{U_1}{U_2} \cdot I_1 \quad (4.4)$$

5 Zkušební a měřicí úkoly

5.1 Měření odporů

5.1.1 Měřicí metody

V nejběžnějších případech použijeme ohmmetr. Ohmmetr je přístroj, na jehož stupnici přímo odečteme velikost odporu. Zdrojem bývá suchá nebo akumulátorová baterie. Používá se k měření velkých odporů. Pro přesnější měření použijeme mikroohmmetr. Tento měřicí přístroj se používá k měření ohmických činných a indukčních odporů v rozsahu $0\text{--}99\ \mu\Omega$ až $20\text{--}199,9\ \Omega$ a to proudy 10 A a $0,1\text{ mA}$. Může se užívat jak v automatickém, tak i ručním režimu. Měření se provádí pomocí čtyř vodičů: dva vodiče jsou proudové sondy a další dva napěťové sondy.

Mezi další používané metody patří můstkové metody. Thomsonův můstek se používá pro měření velmi malých odporů, kde již nestačí můstky jako třeba Wheatstoneův, protože u nich nelze vyloučit vliv přechodových odporů přírodních svorek a propojovacích vodičů. Tímto můstkem měříme odpory od $0,00015\ \Omega$ do $0,1\ \Omega$. Wheatstoneův můstek je elektrický obvod, který se používá pro měření odporů a malých změn odporů. Princip činnosti je podobný činnosti potenciometru, ale můstkové zapojení rezistorů je citlivější - používá se k měření odporů zhruba od 1 do $10000\ \Omega$ a k informativnímu měření odporů ostatních velikostí. Dále je možno využít ohmovu (VA) metodu, která využívá čtyřvodičového zapojení. Tato metoda se používá pro měření malých odporů. Poskytuje přesné výsledky i při měření velmi malých odporů pod $0,001\ \Omega$, jejichž měření můstkovou metodou není v tovární praxi dostatečně přesné. V-A metodu lze využít i pro měření velkými proudy (cca $80\text{--}100\text{ A}$), které je potřeba pro dostatečně velký úbytek napětí na měřeném odporu. Využívá se pro měření odporu kotev velkých stejnosměrných strojů, vinutí pomocných pólů, kompenzačního a sériového budícího vinutí, dále k měření odporu vinutí na nízké napětí střídavých elektrických strojů a transformátorů. Jako stejnosměrný zdroj se obvykle používá akumulátorová baterie.

5.1.2 Měření vinutí

Měření odporu trojfázového vinutí se obvykle provádí na svorkách vinutí. Jen odpor rotorového vinutí kroužkového asynchronního motoru se měří přímo na sběracích kroužcích a odpor kotev komutátorových strojů přímo na lamelách komutátoru, aby se vyloučil proměnlivý přechodový odpor na kartáčích. Pokud jsou vyvedeny všechny konce vinutí, můžeme měřit příslušné fázové odpory. Častěji se však měří odpor mezi svorkami dvou fází. Tento postup je nevyhnutelný, jsou-li vyvedeny pouze tři konce vinutí. Dále můžeme měřit odpor budícího vinutí. Odpor budícího vinutí stejnosměrného stroje se měří na svorkách u synchronního rotoru na sběracích kroužcích stroje. Měření se provádí Wheatstonovým můstkem jen u větších strojů, u strojů s nízkým budícím napětím a při měření odporu sériového budícího vinutí se používá Thomsonova můstku nebo nejlépe Ohmovy metody. Odpor kotev komutátorových strojů se měří na lamelách komutátoru, aby se vyloučil přechodový odpor kartáčů.

5.2 Zkouška nakrátko

Měřením nakrátko zjišťujeme rozptylové poměry stroje a měříme charakteristiku nakrátko, velikost ztrát nakrátko a u motorů i velikost záběrového momentu. Z hodnot určených při měření nakrátko se dají stanovit další charakteristické hodnoty stroje (procentní napětí nakrátko). Měření nakrátko se provádí při jmenovitém proudu stroje. U strojů, které nemají vlastní budicí obvod (asynchronní motory), se měří nakrátko při zabrzděném stroji, přičemž měřený stroj má stejně jako i transformátor zkratováno sekundární vinutí. Měření nakrátko se provádí pouze po krátkou dobu, protože vinutí motoru není chlazeno ventilátorem.

5.3 Zkouška naprázdno

Měřením naprázdno zjišťujeme jednak vlastnosti magnetického obvodu stroje, které vyjadřuje magnetizační charakteristika, jednak ztráty při chodu naprázdno v závislosti na napětí. Nejprve je nutno prohlédnout zkoušený stroj z mechanického hlediska (nedrhnou-li ventilátor, ložiska apod.). Potom se připojí ke zdroji proměnného napětí, např. ke zkušebnímu alternátoru nebo indukčnímu regulátoru. Zkoušený stroj se rozbíhá postupným zvyšováním napětí na U_n . Proud měříme ve všech třech fázích a uvažujeme z naměřených hodnot aritmetický průměr. Výrazné rozdíly proudu v jednotlivých fázích svědčí o poruše (závitový zkrat, nesprávné zapojení cívek apod.). Měření naprázdno se provádí při nezatíženém stroji, aby nedocházelo k ovlivnění měření ztrát naprázdno mechanickými ztrátami. U kroužkových motorů provedeme měření rotorového napětí, které se měří na kroužcích rotoru. Toto napětí musí odpovídat štítkovému napětí. U stejnosměrných strojů je postup následující: na svorky stejnosměrného stroje připojíme napětí souhlasné polarity. Nabudíme budicí vinutí na jmenovitou hodnotu proudu a v hlavním obvodu stroje plynule zvyšujeme napětí až na jmenovitou hodnotu. Při jmenovitém napětí měříme otáčky stroje, které by měly odpovídat údajům na štítku. Při zapojení správné polarity napětí na svorky zkoušeného stroje, by se měl motor otáčet ve směru šipky a dynamo, je-li v motorickém stavu, proti směru šipky. Při měření elektromagnetu na svorky přivedeme jmenovité stejnosměrné napětí. Zkouška probíhá 15 minut. Vypočteme pomocí Ohmova zákona odpor vinutí za studeného stavu (údaj na počátku měření) a za tepla (údaj na konci měření). Z těchto hodnot vypočteme oteplení podle vzorce.

$$\Delta \vartheta = \frac{R_t - R_s}{R_s} \cdot \frac{1}{\alpha} \left[^\circ C; \Omega, \Omega, \Omega, K^{-1} \right] \quad (5.1)$$

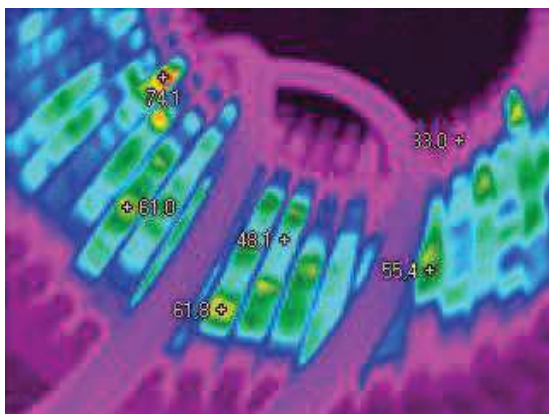
5.4 Závitová zkouška

Tato zkouška se provádí na hotových (opravených) strojích po zkoušce naprázdno. Točivý stroj musí vydržet po dobu 10 min chod naprázdno se zvýšeným napětím o 30 % ve srovnání s jeho jmenovitým napětím. Tím se zkouší izolace závitů proti sobě. Proud při této zkoušce nesmí překročit 120 % své jmenovité hodnoty. Zkoušený stroj připojíme ke svorkám proměnlivého zdroje a plynule zvyšujeme napětí až do výše uvedené hodnoty, přičemž sledujeme proud stroje. V případě dosažení 120 % jmenovitého proudu stroje zvyšování napětí ukončíme a necháme stroj běžet po dobu 10 min.

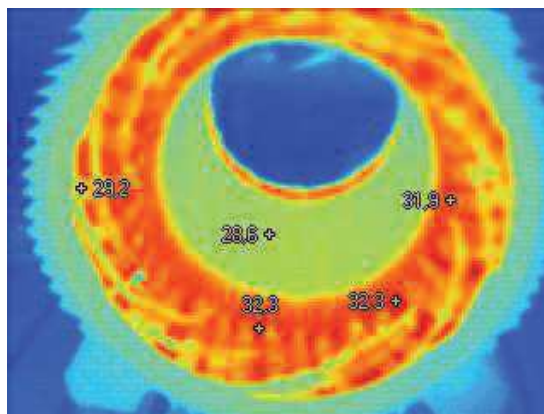
Sledujeme, zda nedochází k nadměrnému zahřátí, jiskření, vibracím apod. V případě výskytu zmíněných problému (zahřátí, jiskření, vibrace) stroj neprodleně vypneme a zkoušení ukončíme.

5.5 Magnetizační zkouška plechů

Tato zkouška pojednává o magnetické zkoušce elektrotechnických plechů střídavých elektromagnetických strojů. Magnetický obvod se kontroluje magnetizací statoru větších motorů po složení a stažení svazku plechů, a to před založením vinutí do drážek, ale po vysušení a vyčištění drážek od nečistot. Zjišťuje se, zda plechy nejsou volné (bručení) a navzájem vodivě spojeny. V místech s poškozenou izolací, s břitý po ražení nebo v tupém styku děleného statoru se plechy nebezpečně místně ohřívají. Toto oteplení lze pozorovat např. termokamerou (viz obr. 5.1), ale i pocitově. Kolem plechů (včetně kostry) statoru nebo rotoru se navine pomocné magnetizační vinutí ve tvaru toroidu, které se zvolí tak, aby se dosáhlo krátkodobě střídavé indukce při 50 Hz ve směru obvodu svazku plechů odpovídající alespoň $1,1 U_n$. Potřebné magnetizační napětí (ampérváhy) k magnetizaci určíme z výpočtového údaje vinutí. Zkušební zdroj musí dát jednofázově potřebný jalový výkon i pro napětí zvýšené o 10 % a $\cos \varphi = 0,1$ až $0,2$. Hrany plechů a pláště kostry musí být obloženy lepenkou. Zkoušený stroj musí být spolehlivě uzemněn. Na obrázku 5.1 je znázorněn stator vinutí s nepřípustnými teplotami drážek zaviněnými zkratem plechů. Vedle na obrázku 5.2 lze pozorovat na termokameře normální stav statoru s uloženým vinutím.



Obr. 5.1 Znárodnění zahřívání drážek statoru



Obr. 5.2 Stav vinutí statoru s již vloženým vinutím

5.6 Zkouška přiloženým napětím

5.6.1 Princip činnosti

Smyslem této zkoušky je ověření, zda elektrické zařízení má dostatečnou odolnost proti elektrickému namáhání, kterému je vystaveno v provozu - ať už jsou to namáhání způsobená napětím provozním nebo přepětím, tj. zda vydrží předepsané zkušební napětí přiváděné z cizího zdroje po předepsanou dobu, aniž by nastal přeskok nebo průraz. Danou zkouškou se zjišťuje, zda izolace mezi jednotlivými vinutími, mezi vinutím, mezi jinými živými a neživými částmi má dostatečnou pevnost.

Zkušební napětí může být střídavé 50 Hz (průmyslový kmitočet) nebo stejnosměrné (1,6 x střídavé zkušební napětí). Velikost zkušebního napětí je stanovena normou. Pro určení hodnoty zkušebního střídavého napětí pro nově navinutý stroj platí vztah (5.2), pro stroj v provozu je pak vztah upravený a platí vzorec (5.3).

$$U = 2 \cdot U_n + 1000 \quad [V; V] \quad (5.2)$$

$$U = (2 \cdot U_n + 1000) \cdot 0,8 \quad [V; V] \quad (5.3)$$

5.6.2 Postup zkoušky

Vinutí a ostatní živé části se můžou zkoušet přiloženým napětím jen tehdy, mají-li předepsaný minimální izolační odpor. Zkouší se izolace mezi jednotlivými vinutími a mezi živými a neživými částmi stroje. Střídavé zkušební napětí smí dosahovat na počátku zkoušky nejvýše 50 % plného zkušebního napětí. Napětí se postupně a plynule zvyšuje na plnou hodnotu. Zvyšování zkušebního napětí z poloviny na plnou hodnotu má trvat nejméně 10 sekund. Na zkušebním napětí se setrvá předepsanou dobu (1 min.), která se počítá od dosažení plné hodnoty. Pak se napětí rychle snižuje a vypíná se tehdy, kdy již nehrozí nebezpečí vysokých přepětí při vypínání, která by mohla výsledek zkoušky ovlivnit. Snižování napětí má trvat alespoň 5 sekund. Zkouší-li se část vinutí, ostatní části vinutí se uzemní. Totéž platí i pro stroje s více vinutími (dvouotáčkové motory, transformátory apod.). Zkoušené části elektrického zařízení se po odpojení zkoušecího napětí spojí s uzemněnou kostrou, aby se vybil náboj vzniklý při zkoušce. Zkoušený stroj vyhověl zkoušce přiloženým napětím, jestliže nenastal přeskok ani průraz a stav izolace umožňuje další řádný chod stroje. Jiskření, sršení a trsové výboje se nepovažují za závadu, pokud nenastane poškození izolace.

5.6.3 Kvalifikační a bezpečnostní požadavky

Dle normy ČSN EN 50110-1 a vyhlášky č. 50/1978 zkoušku přiloženým napětím musí vykonávat nejméně dva pracovníci: jeden pracovník znalý (§5), druhý pracovník znalý s vyšší kvalifikací (§6) – vedoucí práce. Vedoucí práce provádí zkoušení, pracovník znalý (§5) pak obsluhu a nastavování úrovně napětí. Při práci je nutno pracovat na izolačních podložkách, používat dielektrické rukavice. Ochranné pomůcky musí být v dobrém stavu, nepoškozené a periodicky kontrolované. Dle ČSN EN 50110-1 zkouška přiloženým napětím se považuje za práci na elektrickém zařízení pod napětím. Při zkoušce se nesmí používat oděvů volně vlajících, nesmí se nosit kovové řetízky, kovové náramky, prsteny, štitky nebo jiné kovové součástky, oděv a prádlo ze vznětlivé látky (celuloidu apod.). Zakazuje se pracovat s vyhrnutými rukávy nebo mít oděv bez rukávů. Rukávy pracovních oděvů musí být v zápěstí zapnuty. Na vyhrazeném pracovišti pro zkoušky přiloženým napětím se po dobu zkoušek nesmí provádět jiné práce. Pracoviště je třeba zajistit proti vstupu nepovolaných osob. Přejícné zkušební pracoviště se musí nápadně ohraničit barevnými provazy a patřičnými bezpečnostními tabulkami. Během zkoušky se nesmí mimo stanoveného postupu provádět žádné manipulace na elektrických přístrojích, zařízeních nebo zkoušených předmětech, a to ani v případě selhání jejich funkce.

5.7 Závitová impulsní zkouška

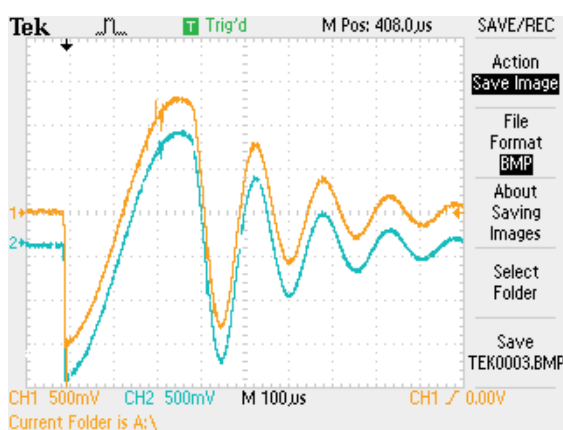
5.7.1 Princip činnosti

Rázová zkouška se nejčastěji používá pro zkoušení izolace mezi závity cívek nebo jednotlivých vinutí, pro vyhledávání zeslabených míst vinutí motorů a transformátorů. Před zavedením zkoušení rázovou vlnou byla nejobecnější elektrickou zkouškou u motorů, transformátorů a cívek zkouška izolace vinutí vůči zemi (kostře) s použitím nízkého potenciálu. Tato populární zkouška zjišťuje izolační odpor pomocí stejnosměrného megaohmetru. Tato zkouška je adekvátní zkoušce izolace vinutí vůči zemi, avšak neodhaluje závady mezi závity a fázemi. Komplexnější zkouškou je zkouška rázová (zkouška strmou vlnou). Typická cívka motoru nebo transformátoru se skládá z vinutí měděného drátu. Porucha izolace vinutí začíná často jako porušení izolace mezi závity (mezi mědi nebo jednotlivými vinutími). Zkouškami rázovou vlnou je možno detekovat raná stadia poruch izolace ve vinutí, jako jsou poruchy mezi cívkami, zkrat, zemnění, nesprávné zapojení a nesprávné počty závitů. Velmi krátké napěťové impulsy jsou přivedeny k cívce během zkoušky rázem, aby došlo k vytvoření napěťového gradientu přes délku vodiče ve vinutí. Tento gradient vytváří okamžité napěťové namáhání mezi závity. Cívka bude reagovat v časových úsecích mezi jednotlivými pulsy tlumenými kmity sinusového tvaru. Každá cívka má svůj jednoznačný charakter odezvy nebo vzorek vlny, který je možno zobrazit na stínítku připojeného osciloskopu. Tvar vlny pozorovaný během zkoušky rázem má přímý vztah k indukčnosti cívky. Cívka se stává jedním ze dvou prvků známých jako „laděný obvod“ – obvod typu LC, vytvořený indukčností cívky a vnitřní kapacitou rázového generátoru. Indukčnost cívky je principiálně daná počtem závitů ve vinutí a typem jádra. Jestliže hodnota indukčnosti klesá, roste kmitočet vlnění. Rázovou zkouškou je možno zjistit závadu v izolaci mezi závity způsobenou slabou izolací. Jestliže je napěťový potenciál větší než dielektrická pevnost izolace závitu, může být jeden nebo více závitů vyřazeno z obvodu. V důsledku toho se sníží počet závitů cívky. Méně činných závitů cívky snižuje indukčnost cívky a zvyšuje kmitočet signálu odezvy na rázovou vlnu. Napětí nebo amplituda tvaru odezvy na rázovou vlnu je rovněž snížena v souvislosti se snížením indukčnosti cívky v důsledku závady mezi závity. Když je izolace mezi závity slabá, výsledkem je přeskok s nízkou energií a s ním související změna indukčnosti. Když dojde k tomuto jevu, stane se tvar odezvy na rázovou vlnu nestabilní – může se posouvat rychle doprava a doleva, nahoru a dolů. Ke snížení indukčnosti může docházet v důsledku: závad mezi závity, mezi fázemi, nesprávného propojení, rozpojených spojů atd. Při rázové zkoušce se rovněž provádí částečná zkouška izolace vinutí proti kostře, jestliže je ke kostře připojen zemnicí vodič. Každá fáze motoru nebo transformátoru bude porovnávána s jinou fází. Jestliže jsou fáze shodné, budou se tvary vln odezvy vzájemně překrývat. Jestliže je ve fázi závada, bude se tvar její vlny odezvy lišit od tvarů ostatních.

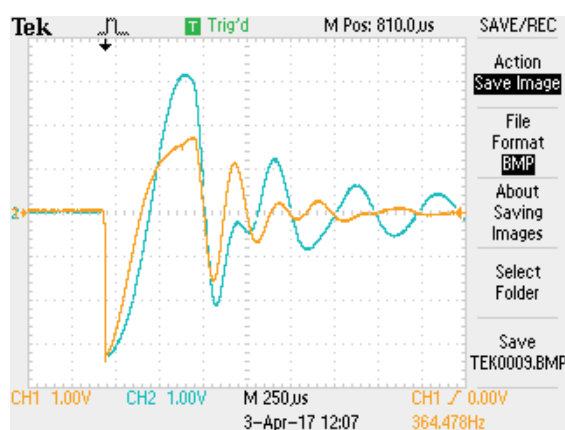
5.7.2 Kvalifikační a bezpečnostní požadavky

Rázový generátor mohou obsluhovat pouze osoby s dostatečnou elektrotechnickou kvalifikací (§6) vyhlášky 50/1978 Sb., kteří byli prokazatelně s funkcí a obsluhou rázového generátoru seznámeni. Jedná se o práci pod VN napětím a obsluhu zařízení VN. Rázový generátor je možno provozovat jen ve zkušebních prostorech. Výstupní napětí rázového generátoru je napětím nebezpečným ve smyslu ČSN EN 61010-1-ed.2, proto je možné jeho použití pouze za podmínek

stanovených výrobcem a při dodržování všech bezpečnostních opatření pro práci v blízkosti vysokého napětí. Před každým zapnutím rázového generátoru je nutno zkontrolovat vysokonapěťové zkušební vodiče a zkušební svorky. Všechny komponenty musí být v bezvadném stavu. Veškeré kryty rázového generátoru musí být spolehlivě upevněny. U pracovišť s nezajištěnou ochranou před dotykem musí být provedeno ohrazení nebezpečné oblasti, aby byla zajištěna bezpečnost nezúčastněných osob. U motorů s rozběhovými kondenzátory se přesvědčte, že před započetím zkoušení jsou od zkoušeného obvodu odpojeny všechny kondenzátory. Při práci je nutno pracovat na dielektrickém koberci, používat obuv s litou gumovou podrážkou a dielektrické rukavice. Ochranné pomůcky musí být v dobrém stavu, nepoškozené a periodicky kontrolované.



Obr. 5.3 Bezporuchový stav měřených cívek



Obr. 5.4 Projev závitového zkratu při měření

5.8 Měření izolačního stavu

5.8.1 Zásady měření a stanovení hodnoty izolačního odporu

Měřením izolačního odporu se zjišťuje velikost odporu izolace mezi jednotlivými vinutími, a také mezi vinutími a aktivním železem. Nejmenší hodnota odporu izolace se stanoví výpočtem R_{iz} (viz 5.4, 5.5). U strojů v teplém stavu je tato hodnota alespoň pětkrát větší než R_{iz} u strojů ve studeném stavu. Tímto výpočtem se stanoví pouze stav vyhovuje nebo nevyhovuje z hlediska bezpečnosti. Pro středisko elektrotechnických dílen je však toto rozřazení nedostačující, proto se pro provozní kritéria hodnocení stavu izolace používá tabulka 5.1 Tato tabulka se řídí vnitropodnikovou normou CEZ_ME_0986r00 ve zpřísněné variantě. Norma CEZ_ME_0986r00 je nástupcem normy PN00/06.

$$R_{iz} = \frac{U_n}{\frac{S_n}{100} + 1000} \quad [M\Omega; kV, kVA] \quad (5.4)$$

$$R_{iz} = \frac{U_n}{\frac{P_n}{100} + 1000} \quad [M\Omega; kW, kVA] \quad (5.5)$$

Tab. 5.1 Kritéria hodnocení stavu izolací

Hodnocení			Vyhovuje		Bez záruky	Nevyhovuje	
			A	B	C	D	E
<u>Izolační odpor:</u>	NN stroje	1 min	100 MΩ	35 MΩ	10 MΩ	3 MΩ	
		10 min	200 MΩ	100 MΩ	35 MΩ	3 MΩ	
	VN stroje	1 min	500 MΩ	200 MΩ	100 MΩ	20 MΩ	
		10 min	1000 MΩ	500 MΩ	200 MΩ	25 MΩ	
<u>Polarizační index</u>	P _{i600}	Mica	3	1,5	1,2	1	
		Semikaterm	1,1	1	1	0,9	
<u>Kapacita</u>	Odchylka mezi fázemi		8 %	10 %	12 %	20 %	
<u>Napětová závislost</u> R_{iz}	$\Delta R_{iz} = \frac{R_{\max} - R_n}{R_n}$		+20 %	+10 %	+5 %	0 %	

5.8.2 Druhy měření

Podle trvání zkoušky se rozlišuje:

- měření minutové
- měření desetiminutové
- měření prověřovací (provádí se v provozu jako kontrola stavu navlhnutí nebo znečištění stroje, k prověření nutnosti vysušení stroje).

U měření minutového a desetiminutového se vždy zaznamenává hodnota po uplynutí 15 sekund, tuto hodnotu lze dále využít pro výpočet polarizačního indexu.

5.8.3 Vliv měřicího napětí a doby měření

Hodnota změřeného izolačního odporu závisí na velikosti měřicího napětí. Při vyšším napětí se naměří obvykle nižší hodnoty izolačního odporu. Při srovnávání dvou měření izolačního odporu je důležité znát typ měřicího přístroje, velikost měřicího napětí a teplotu měřeného stroje. Při měření izolačního odporu stejnosměrným napětím se obvykle v prvních deseti minutách izolační odpor zvětšuje, je-li stroj suchý a čistý. Polarizační index je větší než jedna.

5.8.4 Měřicí metody

Obvykle se měří izolační odpor měřičem izolace. Podle velikosti stroje, jmenovitého napětí a měřeného izolačního odporu se používají měřiče izolace s napětím 100 V, 500 V, 1000 V, 2500 V nebo 5000 V. Stroje na jmenovité napětí do 500 V se zkoušejí měřičem izolace s napětím 500 V, stroje na napětí nad 500 V se zkoušejí měřičem izolace s napětím nejméně 1000 V. Stroje na napětí 6000 V a vyšší se zkoušejí měřičem izolace s napětím 2500 V nebo 5000 V. Napětí měřiče izolace nesmí být nikdy vyšší než zkušební napětí zkoušeného stroje. Hodnotu měřicího napětí je třeba uvést ve

zkušebním protokolu vedle hodnoty izolačního odporu. Při měření izolačního odporu značně navlhčích vinutí (vlivem provozních podmínek nebo uskladnění) se doporučuje snížit pro prověřovací měření měřicí napětí pod obvyklou nebo předepsanou hodnotu tak, aby nemohlo dojít k poškození izolace.

5.8.5 Postup měření

Měřicí přístroje se připojují k měřeným částem stroje izolovanými vodiči a tak, aby byl zaručen dobrý vodivý styk. Zpravidla se používá zkušebních kontaktů s ostrými hroty, které zajistí spolehlivé měření i na znečištěném nebo zkorodovaném povrchu. Izolační odpor se čte obvykle jednu minutu po připojení napětí. Při každém měření izolačního odporu má být zapsána teplota měřené části, typ měřicího přístroje a měřicí napětí. U velkých strojů, nebo porovnávají-li se výsledky měření, jsou tyto záznamy nutné. Teplota měřeného vinutí nesmí být nižší než rosný bod, s výjimkou speciálních zkoušek (např. zkoušek klimatické odolnosti). Měření je možno provést dvakrát, pokaždé při jiné polaritě měřicího napětí. Jsou-li výsledky obou měření stejné, je nízký izolační odpor zaviněn jinými vlivy než vlhkostí. Vliv vlhkosti se projevuje různými výsledky měření při změně polarity měřicího proudu. Po skončení měření se musí části, které byly měřeny, spojit se zemí, aby se vybil náboj vzniklý při měření, popř. se vybijí přes uzemňovací odpor. Většina moderních měřicích přístrojů vybití provede sama po ukončení měření. U vinutí na jmenovité napětí 3000 V a vyšší musí být doba vybití při výkonu stroje do 1000 kW nejméně 15 sekund a při výkonu stroje nad 1000 kW nejméně 1 minutu.

5.8.6 Měření jednotlivých izolačních odporů

Při kontrolních kusových zkouškách se měří izolační odpor pouze ve studeném stavu stroje. Při měření izolačního odporu v prakticky studeném stavu je možné považovat za teplotu vinutí teplotu okolního prostředí. Před zahájením měření musí být kostra stroje uzemněna. Na stroji se měří tyto izolační odpory:

- a) mezi vinutími statoru a železem (kostírou)
- b) mezi vinutími rotoru a železem (kostírou)
- c) mezi vývodem tepelné ochrany a vinutím, ve kterém je tato ochrana zabudována
mezi vývodem tepelné ochrany a kostírou

Izolační odpor se měří tak, že se jeden pól zkušebního zdroje připojí na vývody zkoušeného vinutí a druhý pól na uzemněnou kostírou stroje, se kterou jsou zpravidla spojena všechna ostatní vinutí. Každé elektricky nezávislé vinutí se měří zvlášť. Jednotlivá vinutí, která jsou v provozu vzájemně spojena, avšak mají vyvedeny oba konce, se považují za elektricky nezávislá. Je-li vyveden jen jeden konec vinutí a druhý je spojen uvnitř stroje s jiným vinutím, zkouší se takové vinutí jako jeden celek proti kostíře. Několikafázové vinutí, u kterého nejsou vyvedeny začátky a konce jednotlivých fází na zvláštní svorky, se zkouší proti kostíře jako jeden celek. Je-li izolované vinutí v provozu uzemněné, pak při měření izolačního odporu má být uzemnění rozpojené, pokud je spojení přístupné. Doporučuje se používat měřiče izolace, které umožňují přímé měření vzájemných izolačních odporů mezi dvěma částmi stroje s kompenzací paralelních odporů uzavírajících se přes společné části.

Při měření izolačního odporu statorových vinutí proti kostře se jeden kontakt (hrot) přitiskne na takové místo kostry, kde není nátěr ani tmelení, druhý kontakt se připojuje postupně na svorky nebo vývodky jednotlivých vinutí. Při měření izolačního odporu rotorových vinutí proti železu na rotoru nezamontovaném do statoru se měří izolační odpor celého vinutí proti železu. Jeden kontakt se přitiskne na hřídel, druhý na komutátor nebo na jeden ze sběracích kroužků. Má-li rotor několik samostatných vinutí, měří se každé vinutí zvlášť. Při měření na rotoru ve smontovaném stavu musí být kartáče zdviženy. V tom případě se musí změřit zvlášť celé sběrací ústrojí. U starších stejnosměrných kotev a u kroužkových asynchronních motorů se mimoto kontroluje izolační odpor mezi rotorovým vinutím a bandážemi vinutí, jsou-li kovové.

5.9 Měření polarity

Na každém novém nebo převinovaném stroji je třeba provést již během výroby kontrolu správnosti zapojení jednotlivých cívek určitého vinutí (viz níže), např. cívek budícího vinutí a vinutí pomocných pólů stejnosměrných strojů, budícího vinutí synchronních strojů apod. Cívky těchto vinutí by měly být zapojeny tak, aby se polarita pólů po obvodu stroje střídala.

Indukční metoda kontrola polarity – při zapnutí proudu v jedné cívce se objeví na druhé cívce, která je magnetickým obvodem svázaná s první cívkou, napětí stejného smyslu, pokud je smysl navinutí obou cívek stejný. Při této kontrole se napájí jedna cívka a na ostatních se zjišťuje výchylka stejnosměrným voltmetrem při zapínání stejnosměrného proudu v napájené cívce. Voltmetry se připojí kladnými svorkami ke koncům vinutí, které označíme kladně. Vinutí jsou správně označeny, jsou-li výchylky voltmetrů při zapnutí souhlasné.

Kontrola magnetkou – správné zapojení cívek se může taky zjistit pomalým přibližováním magnetky k nabuzeným pólům. Magnetka se před sestavením stroje přibližuje k vnitřním plochám nabuzených pólů, nesmí se jich však dotknout, aby nedošlo k přemagnetování. Směr štelky, a tedy i polarita pólů, by se měla pravidelně střídát po celém obvodu stroje.

Kontrola třífázového vinutí – chyba u tohoto zapojení vznikne tím, že jedna z fází vinutí je vzhledem ke zbývajícím zapojena nesouhlasně. Následkem toho vznikají nesouměrná napětí. Polaritu zjišťujeme tak, že vinutí fází zapojíme libovolně do hvězdy. K jedné fázi přivedeme snížené napětí U (napětí mezi uzlem a koncem jedné fáze). Při správném zapojení vinutí naměříme mezi zbylými vyvedenými konci napětí $1,5 U$. Při nesprávném zapojení je toto napětí jen $0,5 U$ a konce vinutí je třeba zaměnit.

5.10 Nastavení neutrální polohy sběradel

Komutátor a kartáče jsou nejcitlivější části stejnosměrného stroje, a je třeba jejich úpravě a seřízení věnovat nejvyšší pozornost. Kontroluje se kolmost radiálních držáků, vzdálenost držáků od povrchu komutátoru, přesazení kartáčů, a hlavně správné nastavení neutrální polohy, aby nedocházelo k nadměrnému jiskření a opotřebování komutátoru.

Po zabroušení kartáčů se neutrální poloha sběradel nejlépe nastavuje tak, že k vinutí budících pólů se přes vypínač přivede stejnosměrné napětí (proud seřídíme tak, aby odpovídal asi $1/3$ budícího proudu). Na dvě sousední sady kartáčů připojíme milivoltmetr, který nejprve přepneme na rozsah $3 V$.

Potom se proud budícího vinutí náhle vypíná a zapíná, přičemž sledujeme milivoltmetr. Je-li výchylka při rozsahu 3 V patrná, je třeba pootočit sběracím ústrojím na některou stranu. Jestliže se výchylka zmenšila, pokračujeme v natáčení, až se dostaneme na hodnotu řádově milivoltů. Jestliže se naopak zvětší, je třeba změnit smysl natáčení. Po konečném seřízení se sběrací ústrojí zajistí a znova je třeba přezkoušet, jestli se výchylka nezvětšila. Jde-li o stroj, který bude trvale pracovat jen s jedním smyslem otáčení, doporučuje se potom pootočit sběrací ústrojí do tzv. pracovní polohy asi o $\frac{1}{2}$ šířky lamely komutátoru ve smyslu otáčení.

5.11 Měření vibrací

Pro hodnocení kmitání (vibrací) se obvykle používá efektivní rychlost kmitání (mm.s^{-1}). Měření se provádí na předepsaných místech. Velikost kmitání závisí na velikosti sil, které toto kmitání vybudí. Tyto síly mohou mít celou řadu příčin, jež dělíme u elektromotorů na dvě základní skupiny: mechanické a elektromagnetické. [8]

Mechanické příčiny mohou být:

- statická nebo dynamická nevyváženost rotační části,
- ohnutá hřídel,
- chybný konstrukční návrh ložiskových uzlů,
- nepřesnosti stroje zejména v oblasti uložení ložisek,
- nepřesnosti, nebo poškození ložisek (může se jednat o výrobní nepřesnosti a nižší kvalitu ložisek nebo jejich poškození montáží nebo provozem),
- chybná montáž stroje (nesouosost, uvolnění, zakřivení patek),
- spojení (nevhodná nebo poškozená spojka, hnací řemen a jeho napnutí, nesouosé spojení ozubenými koly),
- aero a hydrodynamické síly
- změna otáčivého momentu v průběhu času (může být i elektromagnetického původu). [8]

Elektromagnetické příčiny:

- méně optimální návrh stroje, zejména negativní vliv drážkování rotoru a statoru, druh vinutí, přesycení, nesymetrie některých částí magnetického obvodu apod. Tyto nesymetrie mají vliv na vznik harmonického magnetického pole, proudu a pulsace magnetického toku,
- nepřesnosti ve vzduchové mezeře,
- nesymetrie motoru: přerušené tyče rotorového vinutí, přerušené kruhy,
- ložiskové proudy. [8]

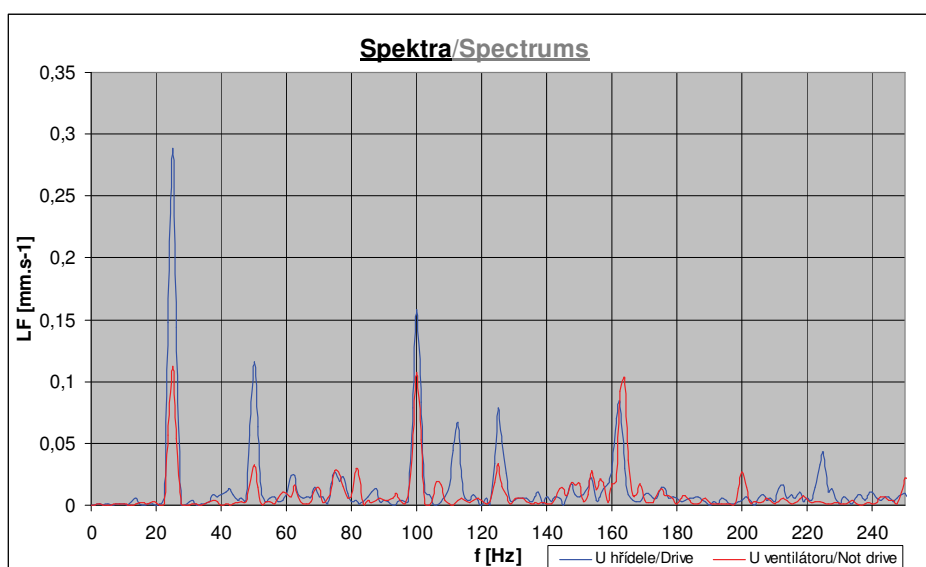
Jak je patrné z výčtu možnosti vzniku vibrací, vibrace motoru nebo pohonu budou mít vždy několik příčin. Vibrace motoru jsou pak dány superpozicí jednotlivých sil způsobujících vibrace. Vibrace, respektive rychlost kmitání, se vyhodnocuje zpravidla absolutně nebo jako průběh ve frekvenční doméně. Každá příčina vzniku vibrací má svou charakteristickou frekvenci, která se objeví

ve frekvenční oblasti. Je pak potřeba rozlišit, které složky jsou vrozené, a které jsou důsledkem postupné poruchy. [8]

Pro posouzení vibrací na zkušebně elektrotechnických dílen postupujeme podle tabulky 5.2.

Tab. 5.2 Třídy pro hodnocení vibrací dle ČSN ISO 10816 a limity

Označení	Popis (LF - mm/s)	Třída I	Třída II	Třída III	Třída IV
A	Malé chvění	< 0,71	< 1,12	< 1,8	< 2,8
B	Připustné chvění	1,8	2,8	4,5	7,1
C	Chvění na mezi připustnosti	4,5	7,1	11,2	18
D	Nepřipustné chvění	> 4,5	> 7,1	> 11,2	> 18



Obr. 5.5 Příklad frekvenčního spektra vibrací

6 Uplatněné a chybějící znalosti a dovednosti

Při zpracování nynější práce jsem nejvíce teoretických znalostí načerpal z předmětů Elektrické stroje I a II, Elektrické přístroje, Elektrická měření a diagnostika na Elektrických zařízeních. Teoretické znalosti o konstrukci motorů, cívek a transformátorů jsem čerpal převážně z předmětů Elektrické stroje I a II - tyto znalosti jsem použil hlavně během první části mého působení ve firmě na pozici pracovníka navijárny, nicméně i při měření a zkoušení strojů je výhodou znát konstrukci a provedení jednotlivých strojů, abych věděl, co a jak se měří. Z dalších zmíněných předmětů jsem využil hlavně znalostí spojené s obsluhou měřících přístrojů nastavováním jejich rozsahu a samotným odečítáním hodnot. V neposlední řadě mou výhodou byla znalost diagnostických metod a měření, které jsme prováděli během laboratorních cvičení v průběhu studia. Díky znalosti základních měření (naprázdno, nakrátko, měření rázovou vlnou, měření vibrací) se mi ulehčila orientace v celém cyklu oprav a zkoušení elektrického stroje. Mezi hlavní dovednosti, které jsem dále využil, byla práce s rozsahy analogových měřících přístrojů, se kterými jsme se učili pracovat hlavně během cvičení z předmětu Elektrická měření.

Mezi mé chybějící znalosti patřily hlavně znalosti technických norem související s problematikou legislativy a předpisů v elektrotechnické branži. V průběhu dosavadního studia jsem se nesetkal s předmětem zabývající se touto problematikou a myslím si, že by bylo přínosem mít přehled o normách, vyhláškách a zákonech, které by se mohly týkat povolání elektrotechnika. Dále mi chyběl větší přehled o motorech a transformátorech jako celku. Mnohdy jsem se během měření setkal se stroji staršími, s jejichž zapojením či principem funkce jsem neměl zkušenosti (například motor schrage). V další řadě jsem u sebe pozoroval nedostatky na poli znalosti technologie výroby či pracovních postupů s elektrotechnickými materiály a problematiku jejich zpracování. Například spojování kovů, samotné vlastnosti materiálu jako jsou měď, cín, hliník a chemické reakce těchto kovů. Těchto problematik se týkal předmět Elektrotechnické materiály, ale jeho rozsah a náplň se mi zdála nedostatečná. Na závěr bych zmínil, že je nezbytná znalost bezpečnosti při práci s elektrickými zařízeními či v laboratoři, ale nedostatky v této kategorii bych viděl na straně bezpečnostních školení, na které se neklade dostatečný důraz, jak rovněž na jejich četnost a systém ověřování.

7 Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její zhodnocení

Při působení na odborné praxi bylo mým hlavním úkolem podílet se na procesu oprav elektrických strojů. Hlavním předmětem mé činnosti byla práce na opravě elektrických strojů: úkony spojené s měřením a zkoušením stroje před opravou, během opravy a na výstupu po opravě. Další činnosti byly spíše administrativního charakteru, byly spojené se zapisováním měřených údajů do karty oprav stroje a s tvorbou protokolu z měření, který je nezbytnou součástí při předání stroje zákazníkovi. Při práci na vinutí jsem postupoval spíše samostatně podle instrukcí, které jsem obdržel od vedoucího pracovníka navijárny. Vzhledem k bezpečnostním požadavkům při práci na zkušebně bylo potřeba pracovat v týmu. Měření odporů (a dalšího) vždy vykonával jeden člověk, ale při složitějších zkouškách (např. napětíová zkouška) bylo zapotřebí kooperace dvou pracovníků.

Odborná praxe ve společnosti Strojírny a stavby Třinec, a. s., pro mě byla přínosná z více důvodů. Jedním z nich je rozšíření teoretických základů nabytých během studia, ale především možnost je reálně aplikovat v praktickém provozu. Dalším důvodem je možnost podílet se na měřeních a práci s elektrickými stroji a měřicími přístroji, se kterými v průběhu studia není možné pracovat. V neposlední řadě bych ocenil rozsah prováděných oprav a různorodost opravovaných strojů. Díky těmto věcem jsem získal větší přehled o výkonech, rozměrech a technické realizaci těchto strojů. Na závěr bych ocenil především kolektivní práci mezi odděleními, kdy je potřeba komunikovat s jinými provozy, zákazníkem a mezi sebou v rámci pracovního týmu zkušebny. Po absolvování praxe jsem schopný samostatně provádět diagnostické úkony na elektrických strojích, a také po získání příslušné kvalifikace provádět revize ručního nářadí, na kterých jsem se během praxe taky podílel jako pozorovatel.

Bakalářskou práci vykonávanou formou praxe můžu v konečném důsledku pouze doporučit. Teoretické znalosti nabyté během studia jsou neúplné, pokud je neumíme aplikovat na reálnou problematiku. Zpracování opravy elektrických strojů není pouze věc technická, ale taktéž právní a normativní. Z pozice praktikanta jsem mohl pozorovat, jak probíhá proces diagnostiky a opravy různých strojů, řízení zakázek, komunikace mezi zaměstnanci, a podílel jsem se na realizaci příslušných zakázek. Věřím, že tyto cenné zkušenosti a dovednosti získané během praxe budu schopen aplikovat a rozvíjet v budoucnu.

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$\Delta \vartheta$	$^{\circ}\text{C}$	oteplení
α	K^{-1}	teplotní součinitel
I_n	A	jmenovitý proud
P_n	W	jmenovitý výkon
R_{iz}, R_t, R_s	Ω	izolační odpor, odpor za studena, odpor za tepla
S_n	W	jmenovitý zdánlivý výkon
U_n	V	jmenovité napětí

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek	Název obrázku	Číslo stránky
Obr. 4.1	Řez trojfázovým asynchronním motorem [2]	4
Obr. 4.2	Sypání šestnáctipólového statorového vinutí	5
Obr. 4.3	Sypání čtyř-pólového statorového vinutí	5
Obr. 4.4	Rotor, u kterého cívky tvoří profily	6
Obr. 4.5	Rotor, u kterého cívky tvoří dráty	6
Obr. 4.6	Příklad zapojení cívkových skupin [6]	7
Obr. 4.7	Stator připravený pro pájení	7
Obr. 4.8	Ukázka štítku asynchronního klecového motoru [2]	8
Obr. 5.1	Znázornění zahřívání drážek statoru	11
Obr. 5.2	Stav vinutí statoru s již vloženým vinutím	11
Obr. 5.3	Bezporuchový stav měřených cívek	14
Obr. 5.4	Projev závitového zkratu při měření	14
Obr. 5.5	Příklad frekvenčního spektra vibrací	19
Tabulka	Název tabulky	Číslo stránky
Tab. 3.1	Časové rozvržení pracovních dnů	3
Tab. 4.1	Třídy tepelné odolnosti izolačních materiálů	7
Tab. 5.1	Kritéria hodnocení stavu izolací	15
Tab. 5.2	Třídy pro hodnocení vibrací dle ČSN ISO 10816 a limity	19

Použitá literatura

- [1] *O společnosti. Strojírny a stavby Třinec a.s.* Třinec:, 2017, dostupné z:
<<http://www.sas-trinec.cz/about-us/>>
- [2] Rusnok, Sobota, *Cvičení z elektrických strojů*. Ostrava: VŠB-TUO, 2013, ISBN 978-80-248-3288-3
- [3] Nekovář, *Výpočet a měření parametrů asynchronních motorů*. Brno: VUT v Brně, 2012, dostupné z:
<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/7544/diplomova_prace-xnekov00.pdf?sequence=2>
- [4] Kostka, *Rukověť zkušebního technika*. Praha: SNTL, MEZ Mohelnice, národní podnik zkušebna elektrických strojů, 1973. SIP-41802/02683
- [5] Barták, Mravináč, Neumann, Vařák, *Diagnostika poruch izolací elektrických strojů*. Praha: SNTL, 1984, Typové číslo L25-B3-IV-31/52376
- [6] Knotek, *Navíjení a převíjení asynchronních elektromotorků*. Praha: SNTL, 1970. Typové číslo L 25-B2-III-33/51968/IV, DT 621.313.333
- [7] Knotek, Knotek, *Navíjení a převíjení malých elektrických strojů točivých*. Praha: SNTL, 1990, Typové číslo L25-E1-IV-33f/52636, DT 621.313.2 + 621.313.32/.33
- [8] *Diagnostika elektrických zařízení*. Ostrava: VŠB-TUO, 2007, Syllabus předmětu diagnostika elektrických zařízení, dostupné z:
<http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/f_studium.htm>

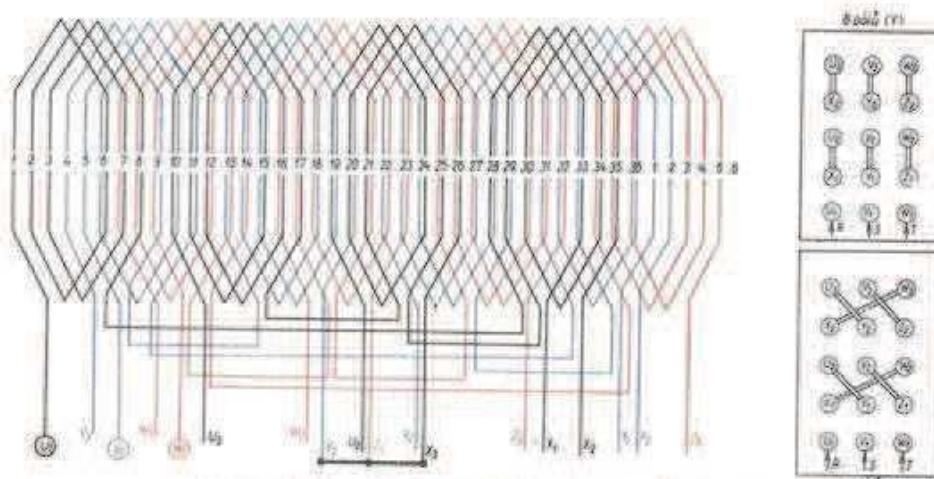
Seznam příloh

Příloha	Název přílohy	Číslo stránky
Příl. 1	Ukázka přední strany karty pro zápis údajů stroje	23
Příl. 2	Schéma zapojení vinutí a cívkových skupin [6]	24
Příl. 3	Příklad zapojení cívkových skupin a svorkovnic [6]	25

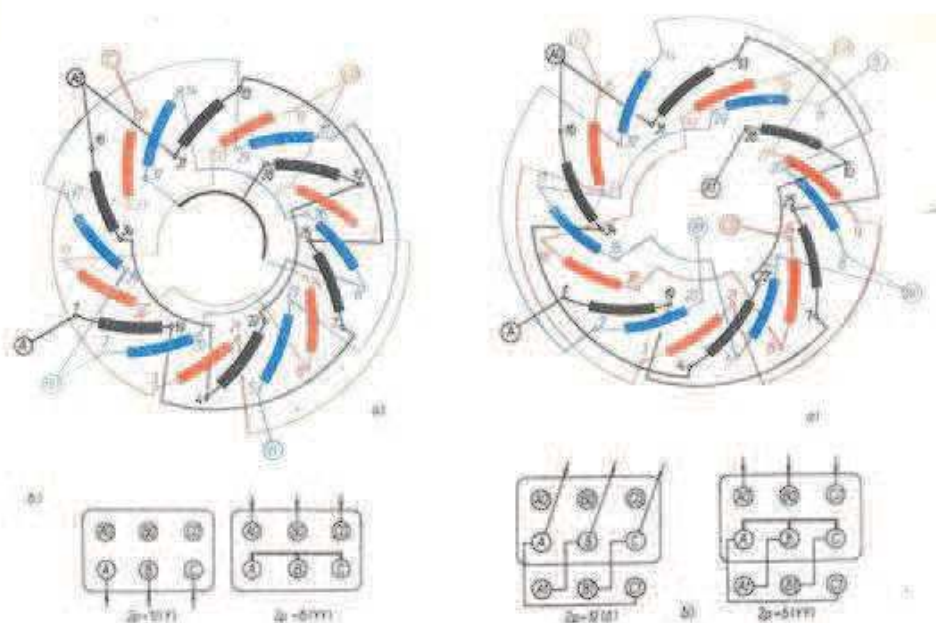
Přílohy

STROJÍRNÝ A STAVBY TŘINEC		KARTA OPRAVY ROTAČNÍHO STROJE číslo 17025					
Objednávku vystavil							KMENOVÉ ČÍSLO
útvár	referent	tel.	dne 29.3.16 pro dílnu				
Objednavatel				Dodavatel			
účet	číslo zařízení	zakázka				dílňa	
		2203 5038		101.1		5210	
Zákazník				poznámka 3390-04-16-Cic 26.880,- oprava ss motoru			
stroj				stroj			
druh	výrobce		druh el. motor ss	výrobce			
typ	tvar		typ GN160K41F	n = 1500 2675		ot/min.	
výr. č. 2330 673	n		ot/min.	U = 440 V	Ik = 58 A	N = 21,9 kW	
N =	kW	f =	C/S	váha	kg	U _b = 260 V	I _b = 3,6 A
U _{st} =	V	I _{st} =	A	spojení	dispozice		
U _r =	V	I _r =	A	spojení			
příslušenství stroje							
zkušební záznam před opravou				dne 4. 04. 2016		měnil	
stator	R = 78-55,1kΩ ; 1,2 = 310,3m		R _{isol} = 600		M Ω		
rotor	R _f = 78-0,0039 ; 1,2 = 0,23m		R _{isol} = 600		M Ω		
magnety	R _f =		R _{isol} =		M Ω		
kotva	R _f = 0,026		R _{isol} = 600		M Ω		
napěťová zkouška 1129V				2-1129V VF = 12V			
	U (V)	I (A)		N (W)	n (ot/min.)	U _{rot} (V)	
naprázdno							
nakrátko							
Při zatížení							
Naprázdko	U =	V	Ik =	V	No =	kW	n =
Při zatížení	U _b =	V	Ik =	V	No =	kW	n =
závitová zkouška				zvláštní (č. prot.)			
zkušební záznam po opravě				dne 12. 05. 2016		měnil	
stator	R _f =		R _{isol} =		M Ω		
rotor	R _f = 78-0,062		R _{isol} = 600		M Ω		
magnety	R _f = 78-54,5 ; 1,2 = 310,3		R _{isol} = 600 / 600/500 V		M Ω		
kotva	R _f =		R _{isol} =		M Ω		
napěťová zkouška 110V / 120V ~				110V ~			
	U (V)	I (A)		N (W)	n (ot/min.)	U _{rot} (V)	
naprázdno							
nakrátko							
při zatížení	U = 440V	58A	R _f = 215V 3,6A	24500	15,16	15,51kW	
naprázdno	U = 440 V	Ik = 2 A	No = 7 kW	n = 1500 min.	U _b = 272 V	I _b = 3,6 A	
při zatížení	U _b =	V	Ik =	V	No =	kW	n =
závitová zkouška				zvláštní (č. prot.)			
poznámka U _{440V} , I _A = 7,3A, U _b = 280V, 2827 ot. min. zkušebnu							
místo uložení						skup.	
STABIL							
číslo bedny 235							
stator							
rotor							
lož. št.							

Příloha 1 Ukázka přední strany karty pro zápis údajů stroje

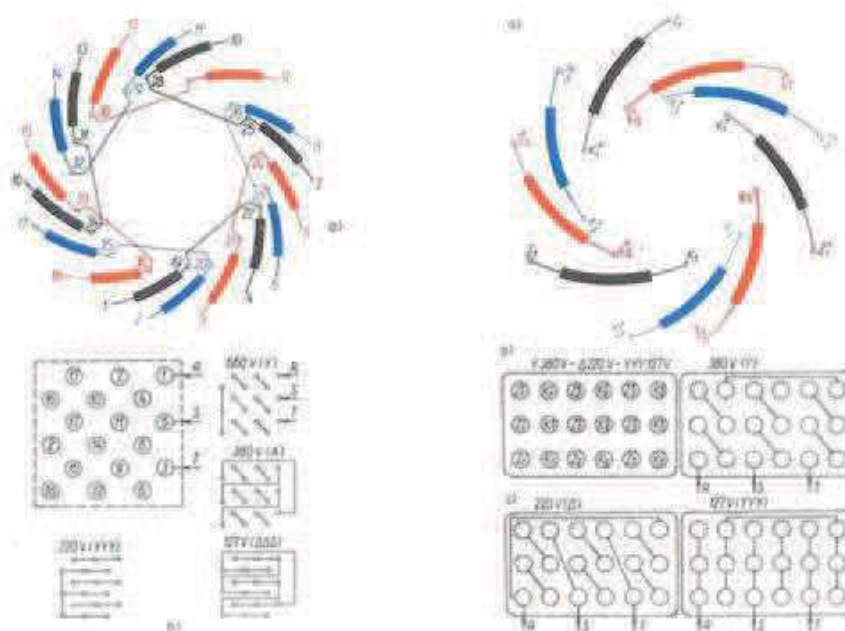
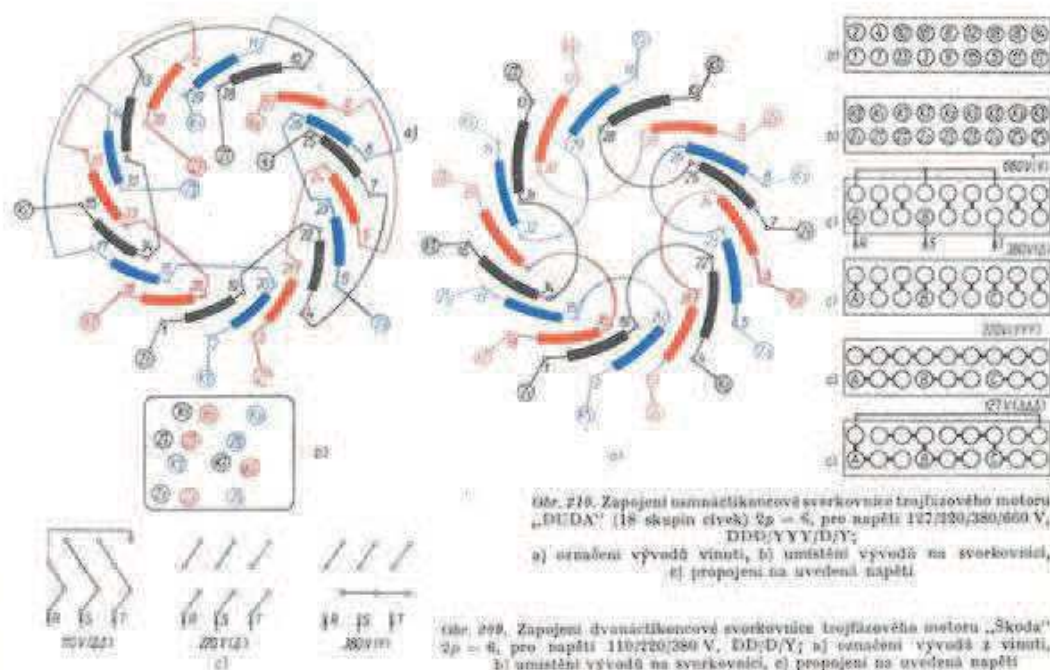


Obr. 237. Zapojení vinutí 12 skupin civek trojfázového dvourychlostního vinutí
 $Q = 36$ drátů, $p_s = 1-6$ dvouvrstevně, $2p = 8/6$ pro 700/900 ot/min
 a) uspořádání vinutí, b) zapojení sverkovnice



Obr. 238. Schéma zapojení 18 skupin civek trojfázového dvourychlostního motoru $2p = 12/6$, Y/YV provedení do včene; a) zapojení vinutí, b) zapojení sverkovnice

Obr. 239. Schéma zapojení 18 skupin civek vinutí trojfázového dvourychlostního motoru, $2p = 12/6$, D/YV do včene; a) zapojení vinutí, b) zapojení sverkovnice



Obr. 212. Zapojení osmičlankové svorkovnice trojfázového motoru (9 skupin cívek) $2p = 6$, pro napětí 127/220/380 V, YYY/D/Y;

a) označení vývodů z vinutí, b) umístění vývodů na svorkovnici, c) propojení na uvedená napětí